



Universidad Autónoma del Estado de México  
Unidad Académica Profesional Tianguistenco

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Unidad Académica Profesional Tianguistenco

Programa educativo: Ingeniería en Plásticos

Unidad de Aprendizaje: **Termodinámica**

## **Unidad 2.- Propiedades de las sustancias puras**

Por:

M. en C. Isaías Alcalde Segundo



## Justificación académica y guía del uso del material didáctico

La UA de Termodinámica, es una disciplina muy importante en la formación de los futuros Ingenieros en Plásticos.

El objetivo de esta unidad de aprendizaje es analizar los conceptos, leyes y sistemas termodinámicos para la obtención de energía, sus propiedades y eficiencias.

En esta unidad se describe un sistema termodinámico mediante el uso de diagramas para relacionar las propiedades de las sustancias puras.

Para acceder esta presentación se requiere contar con un visualizador de archivos en PDF; se sugiere Adobe Acrobat Reader.



## UNIDAD 2. PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS PURAS

2.1 Definición.

2.2 Fases y diagramas de equilibrio.

2.3 Tablas y diagramas de propiedades.

2.4 Ecuación de estado del gas ideal.



## 2.1 Definición

Sustancia pura: Una sustancia con composición química fija en cualquier parte.

Un sólo elemento o compuesto químico. Ejm.  
Nitrógeno, oxígeno

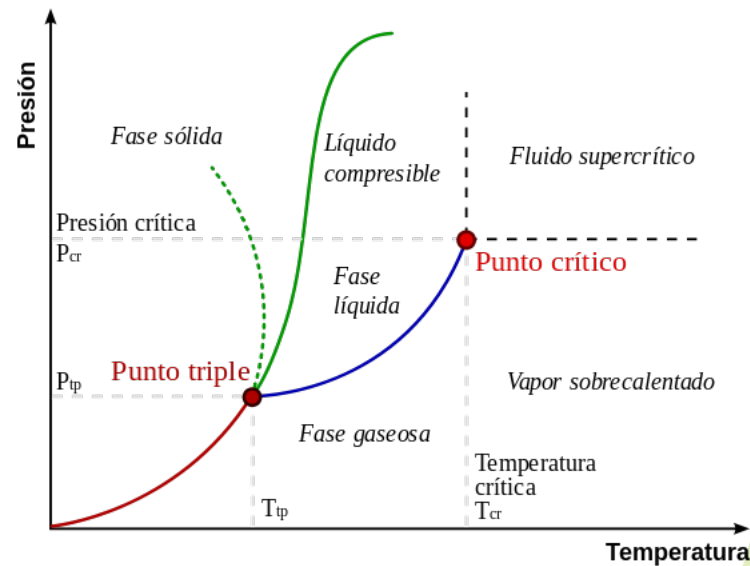
Una mezcla homogénea de varios elementos o compuestos químicos. Ejm. aire

Una mezcla de dos o más fases de una sustancia pura. Estados de equilibrio (liquido-vapor) del agua.



## ¿Qué es un diagrama de fase?

En termodinámica y ciencia de materiales se denomina **diagrama de fase** o **diagrama de estados de la materia**, a la representación gráfica entre los diferentes estados de la materia, en función de variables elegidas para su estudio.





## ¿Para qué se utiliza un diagrama de fase?

- Número de fases microscópicas asociadas a una condición de estado dada, que comprende un conjunto de valores de temperatura, presión y otras variables que describen la naturaleza del material. (Regla de las fases)
- La composición química de las fases presentes.
- Identificar la composición y cantidad de cada una de las fases presentes. (Regla de la palanca)



## Regla de las fases de Gibbs

$$P + F = C + 2$$

Donde:

$P$  = número de fases que pueden coexistir en el sistema

$C$  = número de componentes en el sistema

$F$  = grados de libertad

2= es el número de variables de estado del sistema del sistema ( $P$ ,  $T$ )

Los diagramas de fases binarios utilizados en la ciencia de materiales son, en su mayoría, diagramas temperatura-composición, en los que la presión se mantiene constante, por lo general a 1atm.

En consecuencia, la regla de las fases condensada es:

$$P + F = C + 1$$



## Regla de las fases de Gibbs

Una **fase** es una porción de microestructura homogénea desde el punto de vista químico y estructural.

**Componentes:** las distintas sustancias químicas de las cuales esta formada la fase.

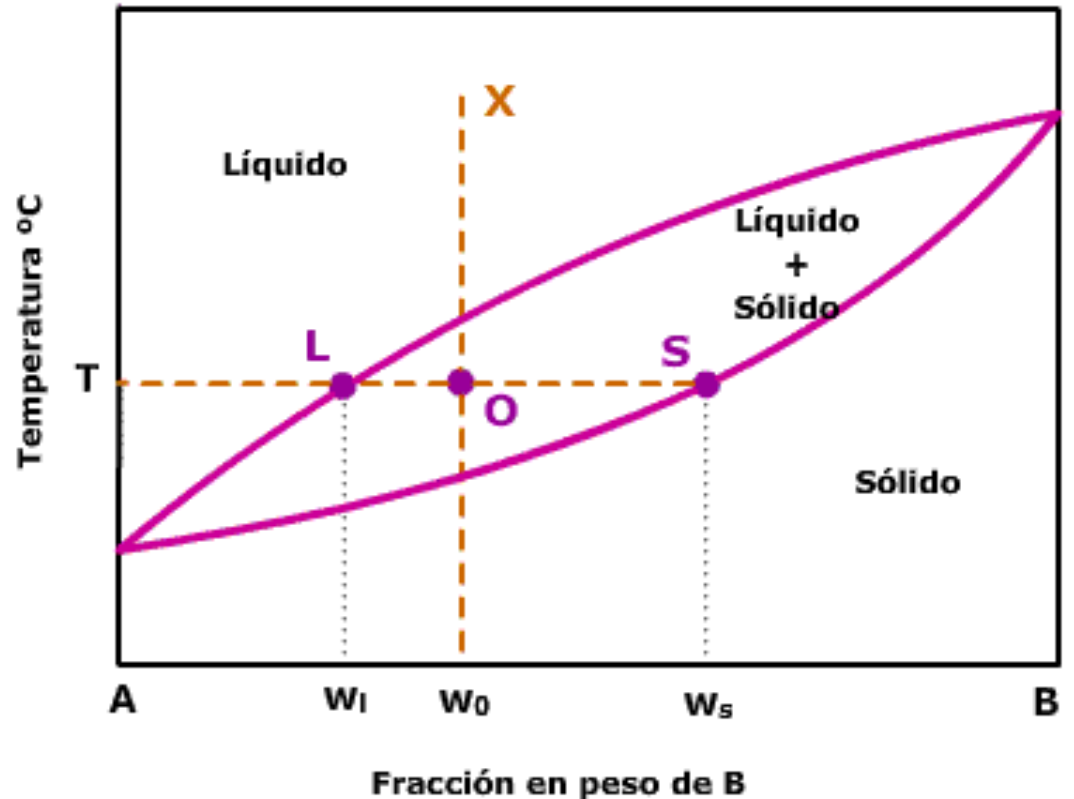
**Grados de libertad:** son los números de variables (presión, temperatura, composición) que se pueden cambiar independientes del sistema.





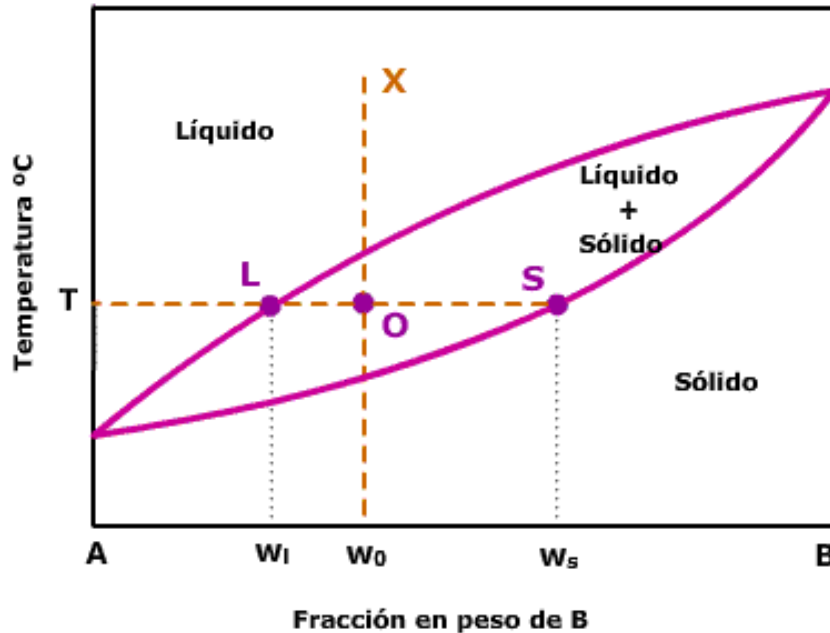
## Regla de la palanca

Es el método empleado para conocer el porcentaje de fase sólida y líquida presentes en una aleación de cierta concentración cuando se encuentra a una determinada temperatura.





## Regla de la palanca



$$\% \text{ de fase sólida} = \frac{W_0 - W_l}{W_s - W_l}$$

$$\% \text{ de fase líquida} = \frac{W_s - W_0}{W_s - W_l}$$

Se puede calcular el porcentaje de una fase como la diferencia entre el 100% y el porcentaje de la otra fase.



## 2.2 fases y diagramas de equilibrio (diagramas de fases)

a) Sistemas de un componente:

- Sustancias puras

b) Sistemas de 2 o mas componentes:

- Diagramas de fases binarios
- Diagramas de fases ternarios



## Fases

- a. Sólido
- b. Líquido
- c. Gas



## Calor latente

Cantidad de energía absorbida o liberada durante el proceso de cambio de fase.

- a) Calor latente de fusión
- b) Calor latente de evaporación



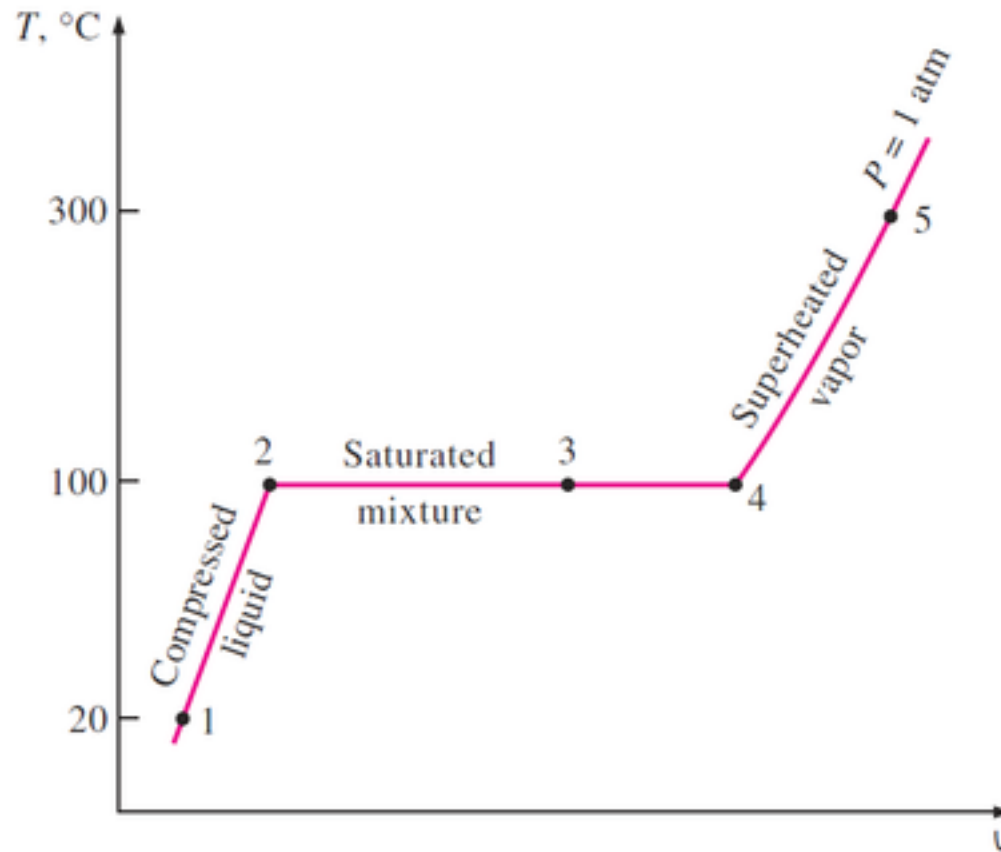
## Cambio de fase en sustancia pura

Tomando como ejemplo agua en un dispositivo (cilindro-embolo)

- 1) Líquido comprimido ( $P = 1 \text{ atm}$  y  $T < 100^\circ\text{C}$ )
- 2) Líquido saturado ( $P = 1 \text{ atm}$  y  $T = 100^\circ\text{C}$ )
- 3) Mezcla saturada líquido-vapor o vapor húmedo ( $P = 1 \text{ atm}$  y  $T = 100^\circ\text{C}$ )
- 4) Vapor saturado ( $P = 1 \text{ atm}$  y  $T = 100^\circ\text{C}$ )
- 5) Vapor sobresaturado ( $P = 1 \text{ atm}$  y  $T > 100^\circ\text{C}$ )



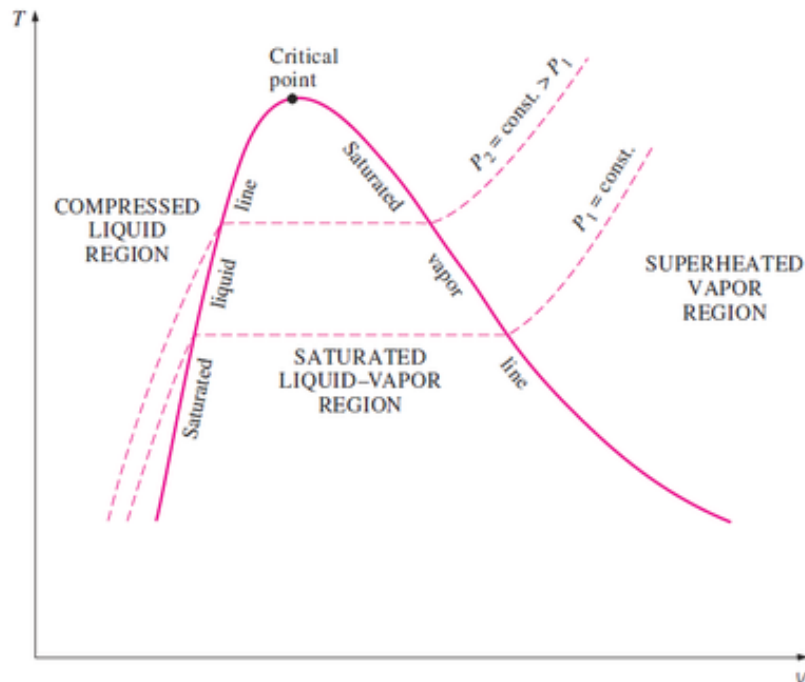
## Cambios de fases del agua





## Temperatura de saturación

Es la temperatura a la cual una sustancia pura cambia de fase, a una presión determinada.







## Punto crítico

Punto en los que los estados “liquido saturado” y “vapor saturado” son idénticos.

A la temperatura, presión y volumen en el punto crítico se les conoce como:

Temperatura critica,

presión critica y

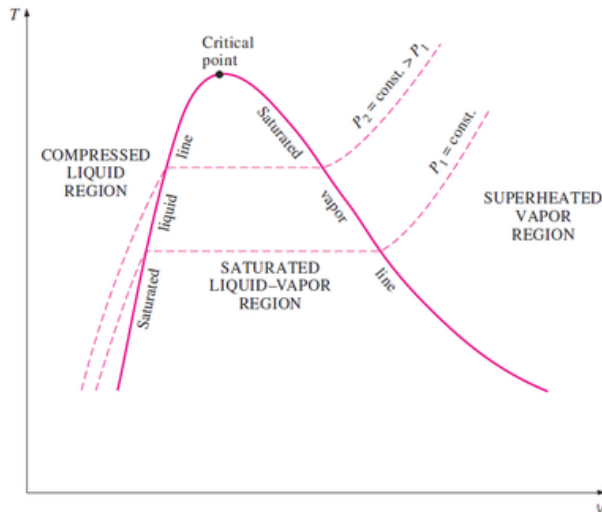
Volumen crítica.

Para el agua:

$T_{cr} = 373.95^{\circ}\text{C}$

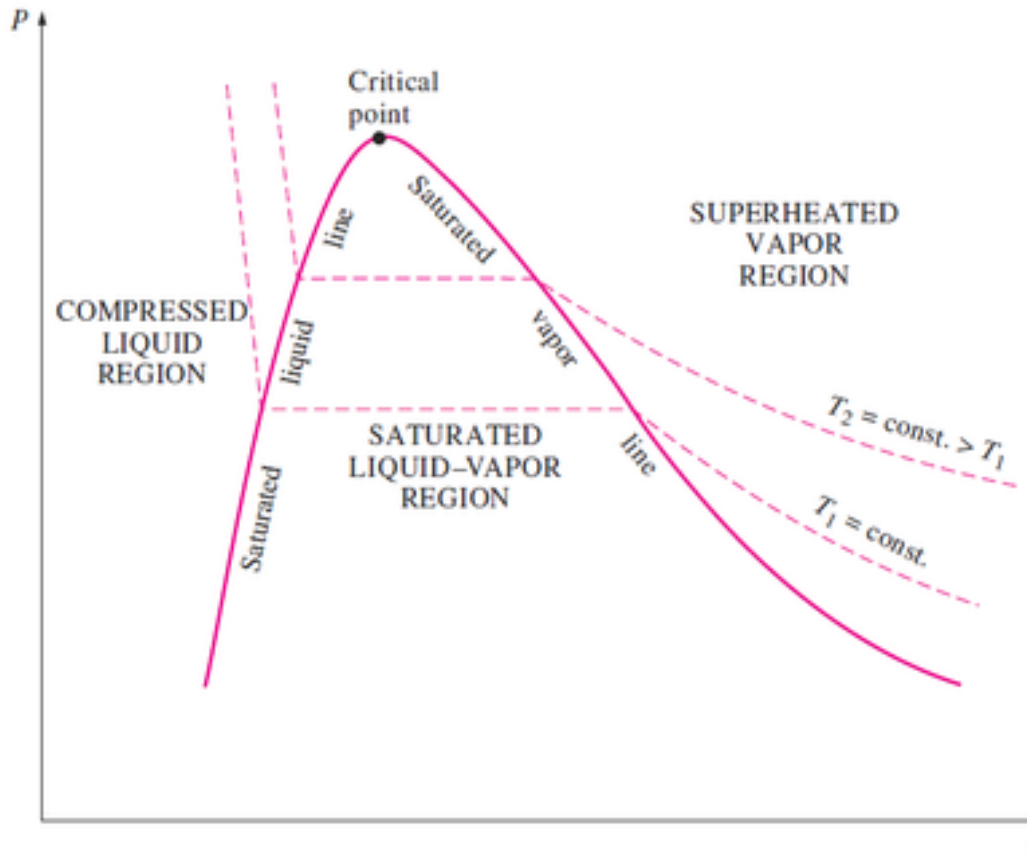
$P_{cr} = 22.06 \text{ Mpa}$

$V_{cr} = 0.003106 \text{ m}^3/\text{kg}$





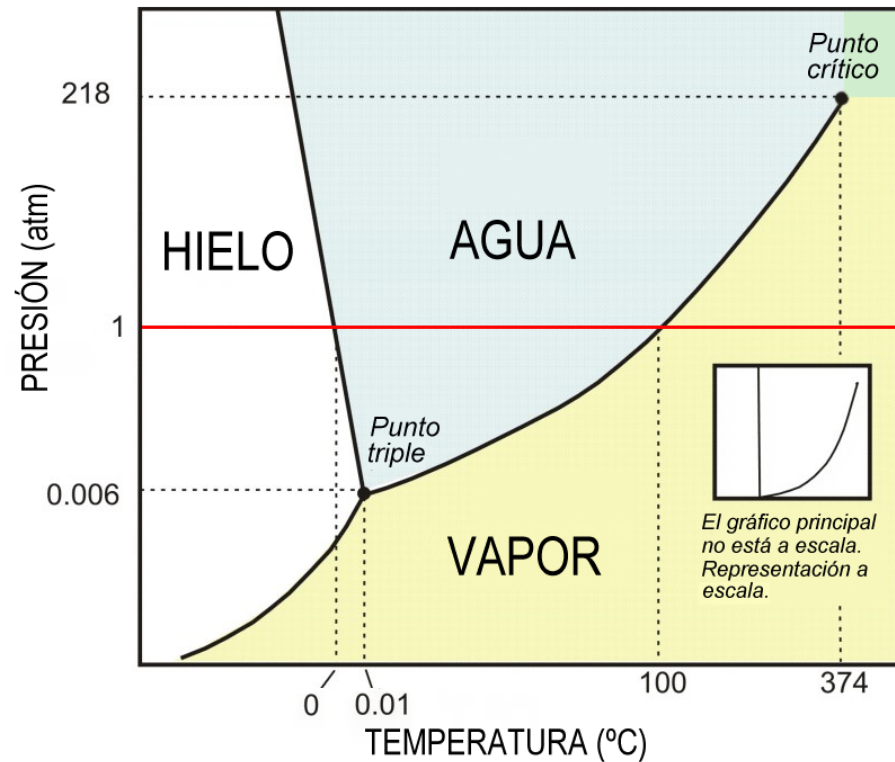
## Variando la presión a temperatura constante



Presión saturada: Es la presión a la cual una sustancia pura cambia de fase, a una temperatura determinada

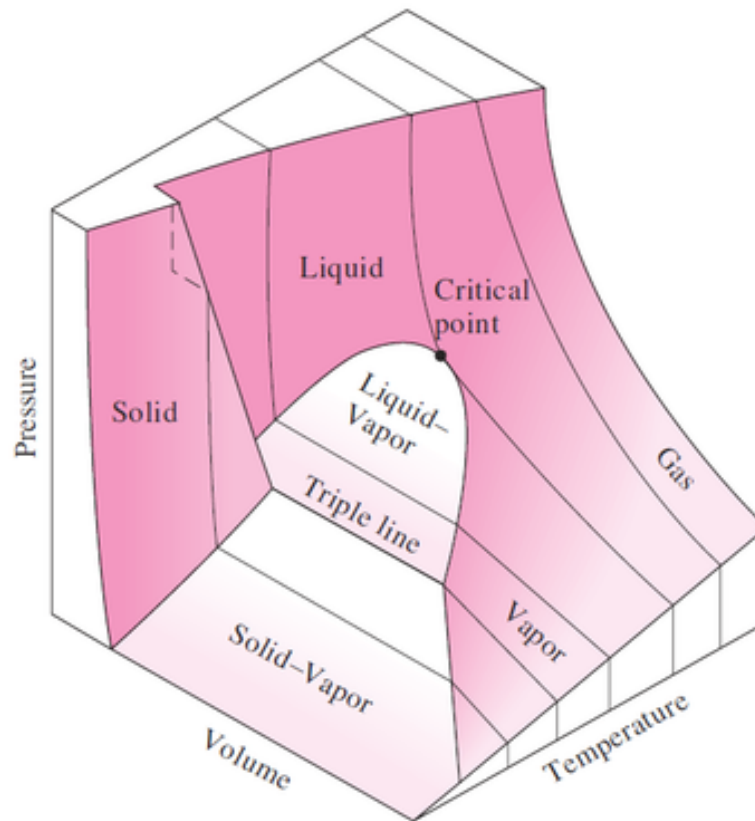


## Diagrama de fase del agua





## Punto triple del agua





## Diagrama de fase de una sustancia pura

Los pares (presión, temperatura) que corresponden a una transición de fase entre:

Dos fases sólidas: Cambio alotrópico;

Entre una fase sólida y una fase líquida: fusión - solidificación;

Entre una fase sólida y una fase vapor (gas): sublimación - deposición (o sublimación inversa);

Entre una fase líquida y una fase vapor: **vaporización** - condensación (o licuefacción).

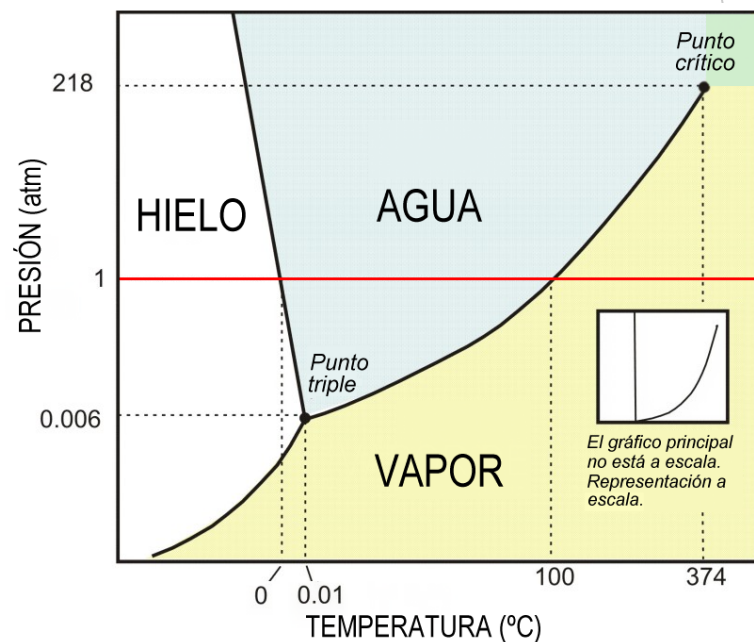
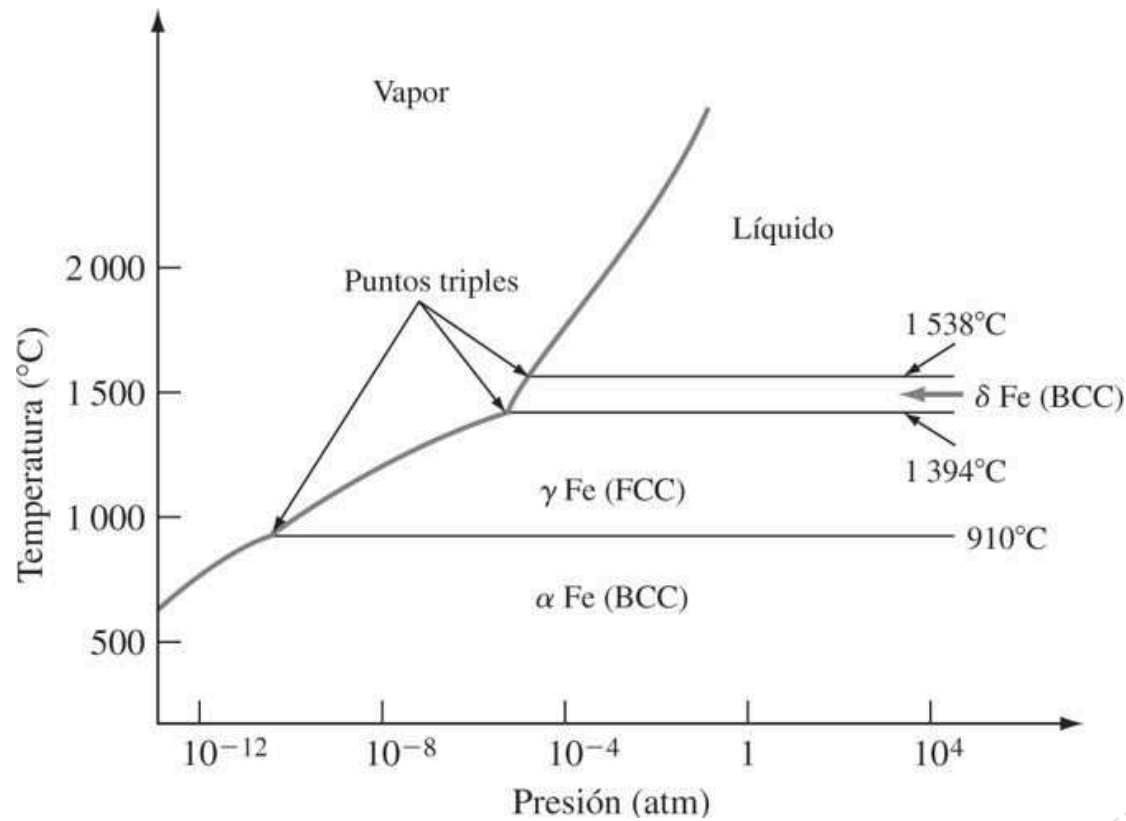


Diagrama de fases en equilibrio para el agua pura



## Diagrama de fase del hierro puro

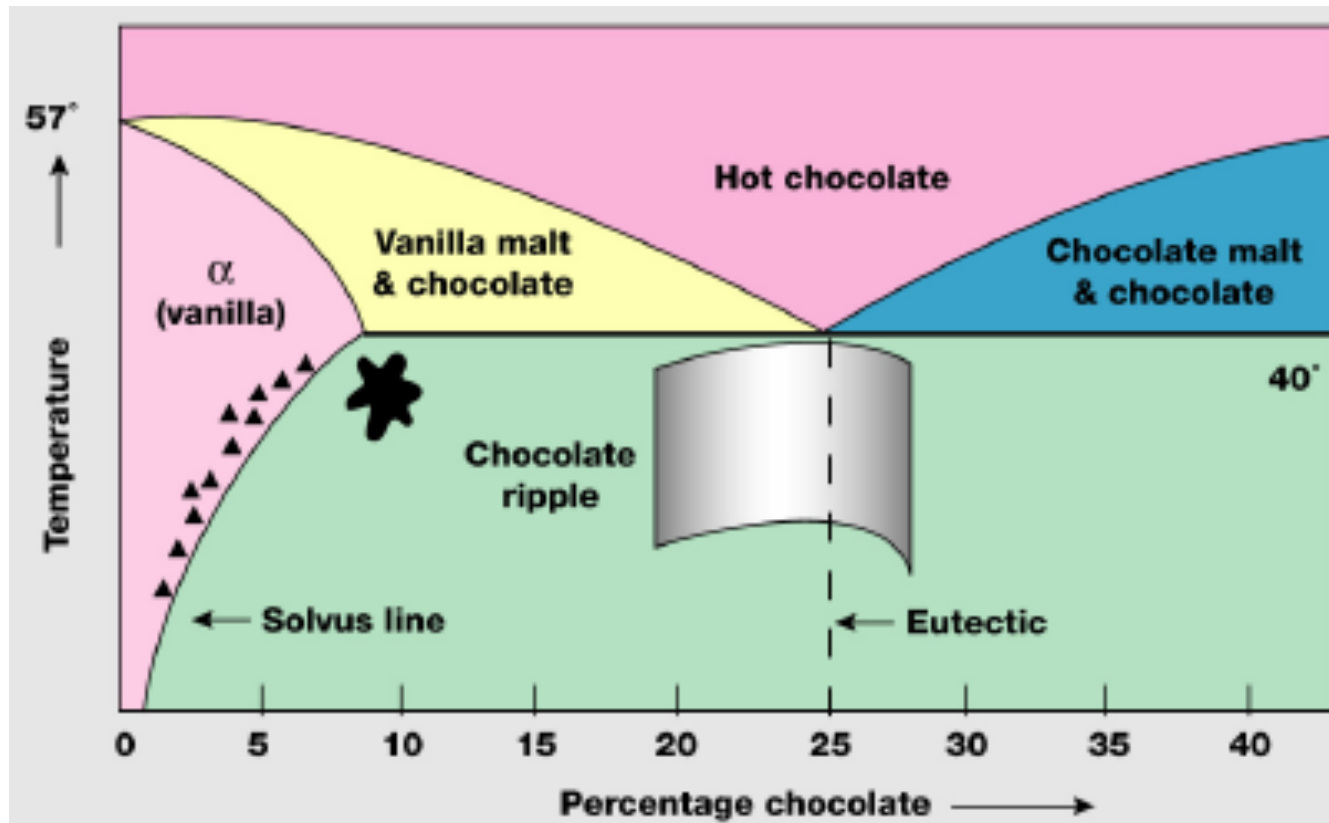


$\gamma$ Fe  $\rightarrow$  Austenita

$\alpha$ Fe  $\rightarrow$  Ferrita

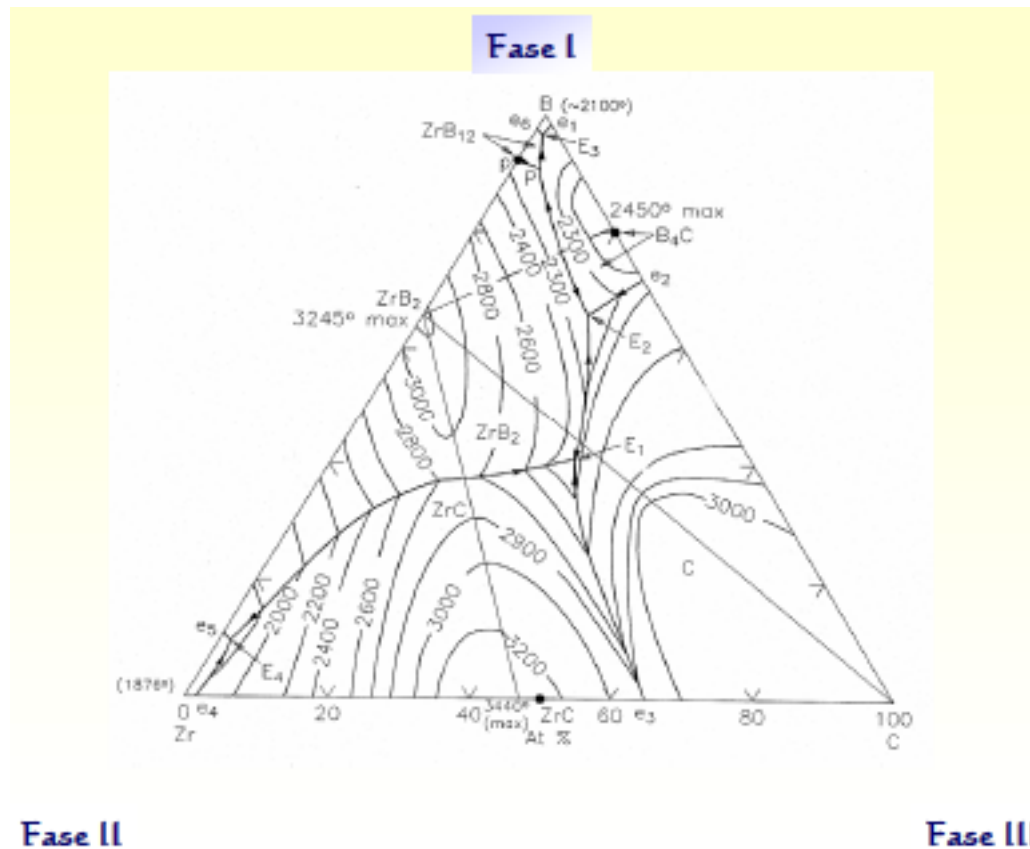


## Diagrama de fase binario





## Diagrama de fase ternario







## Diagrama de fase binario

Hay punto y líneas en estos diagramas importantes para su caracterización:

- Sólido puro o solución sólida, SS
- Mezcla de disoluciones sólidas (eutéctica, eutectoide, peritética, peritectoide)
- Mezcla sólido - líquido
- Únicamente líquido, ya sea mezcla de líquidos inmiscibles (emulsión) o un líquido completamente homogéneo
- Mezcla líquido - gas
- Gas



## Diagrama de fase binario

En un diagrama binario pueden aparecer las siguientes regiones:

- Línea de *liquidus*, por encima de la cual solo existen fases líquidas.
- Línea de *solidus*, por debajo de la cual sólo existen fases sólidas.
- Línea eutectica y eutectoide. Son líneas horizontales (isotermas) en las que tienen lugar transformaciones eutecticas y eutectoides, respectivamente.
- Línea de *solvus*, que indica las temperaturas para las cuales una disolución sólida ( $\alpha$ ) de A y B deja de ser soluble para transformarse en dos disoluciones sólidas ( $\alpha$ ) + ( $\beta$ ) de distinta composición en A y B.
- Concentraciones definidas, en las que tienen lugar transformaciones a temperatura constante: Eutéctica, Eutectoide, Peritéctica, Peritectoide, Monotéctica, Monotectoide, Sintéctica, Catatéctica



## Representación esquemática de las principales transformaciones den los diagramas binarios

REACCIÓN	ECUACIÓN	ESQUEMA
Eutéctica ( $E$ ):	$L \rightleftharpoons \alpha + \beta$	
Eutectoide ( $E'$ ):	$\alpha \rightleftharpoons \beta + \gamma$	
Peritéctica ( $P$ ):	$\alpha + L \rightleftharpoons \beta$	
Peritectoide ( $P'$ ):	$\alpha + \beta \rightleftharpoons \gamma$	
Monotéctica ( $M$ ):	$L_1 \rightleftharpoons \alpha + L_2$	
Monotectoide ( $M'$ ):	$\alpha \rightleftharpoons \beta + \gamma$	



## Diagrama de fase binario

- Mezcla de 2 componentes (A y B)
- Dependiendo de la solubilidad en estado sólido:
  - Sistema binario con **solubilidad TOTAL**: Sistema Isomorfo (Regla de Hume-Rothery)

### DIAGRAMAS EUTÉCTICOS

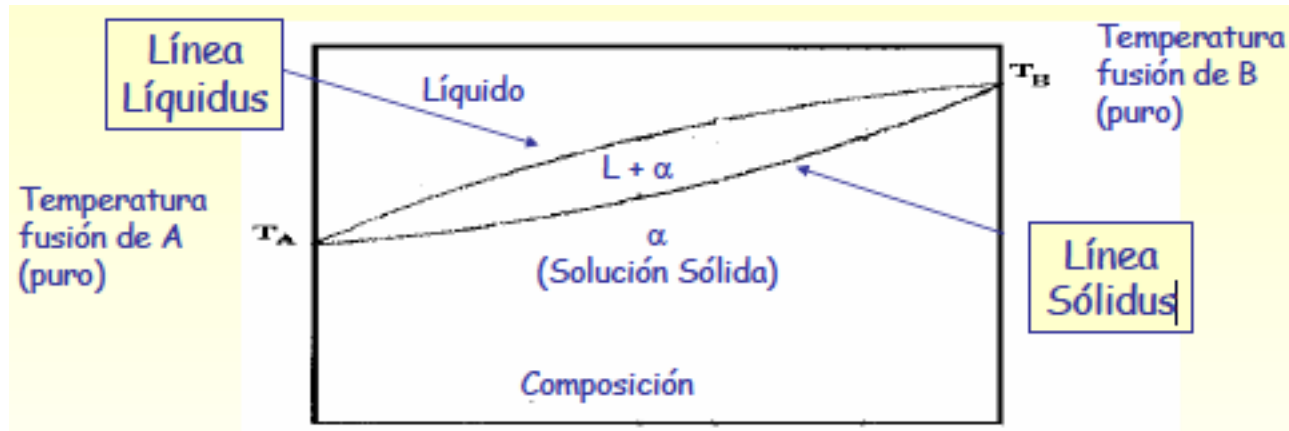
- Sistema binario con **solubilidad PARCIAL**
- Sistema binario con **insolubilidad TOTAL**
- Se representa P o T frente a composición
  - Fracción molar: (0-1)
  - Porcentaje en peso: (0-100)

$$x_A = \frac{\text{moles}_A}{\text{moles}_A + \text{moles}_B}$$

$$\%Wt_A = \frac{W_A}{W_A + W_B} \times 100$$



## Solubilidad total en estado sólido



Hay tres zonas diferentes:

a) 2 regiones monofásicas

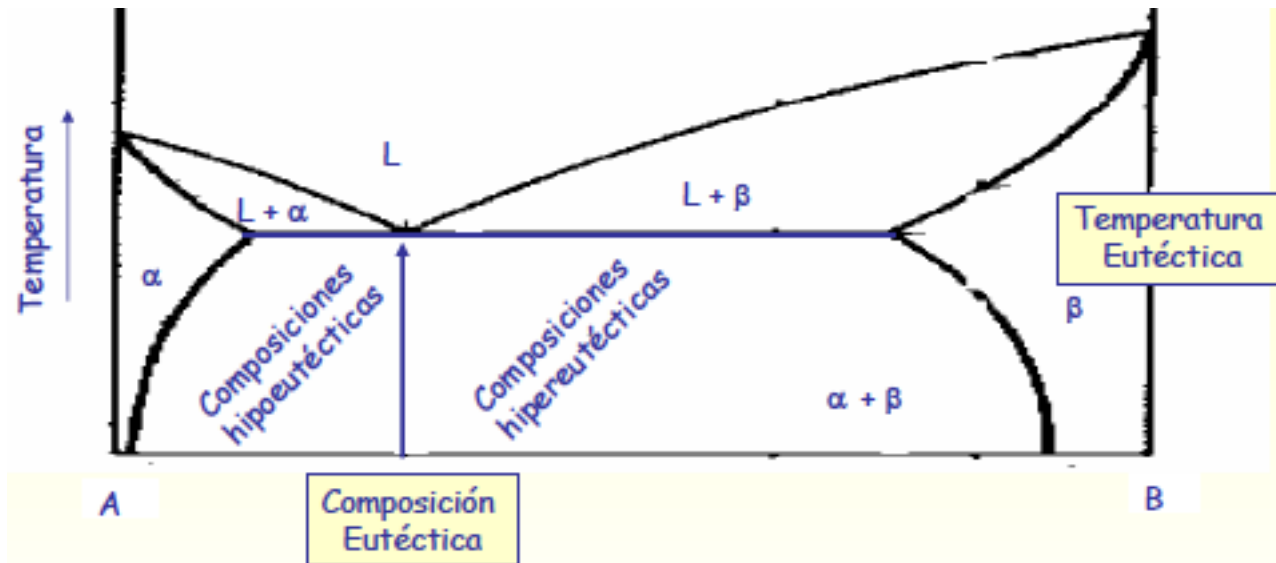
- L (líquido): única fase líquida (A y B son completamente solubles)
- $\alpha$ : única fase sólida: solución sólida con una estructura cristalina definida (A y B son completamente solubles)

b) 1 región bifásica (coexistencia de dos fases: sólida + líquida)

- $L + \alpha$



## Diagrama eutéctico con Solubilidad Parcial



En zonas de Solución Sólida (SS) próxima a los extremos:

$\alpha$ : SS con igual estructura cristalina que A

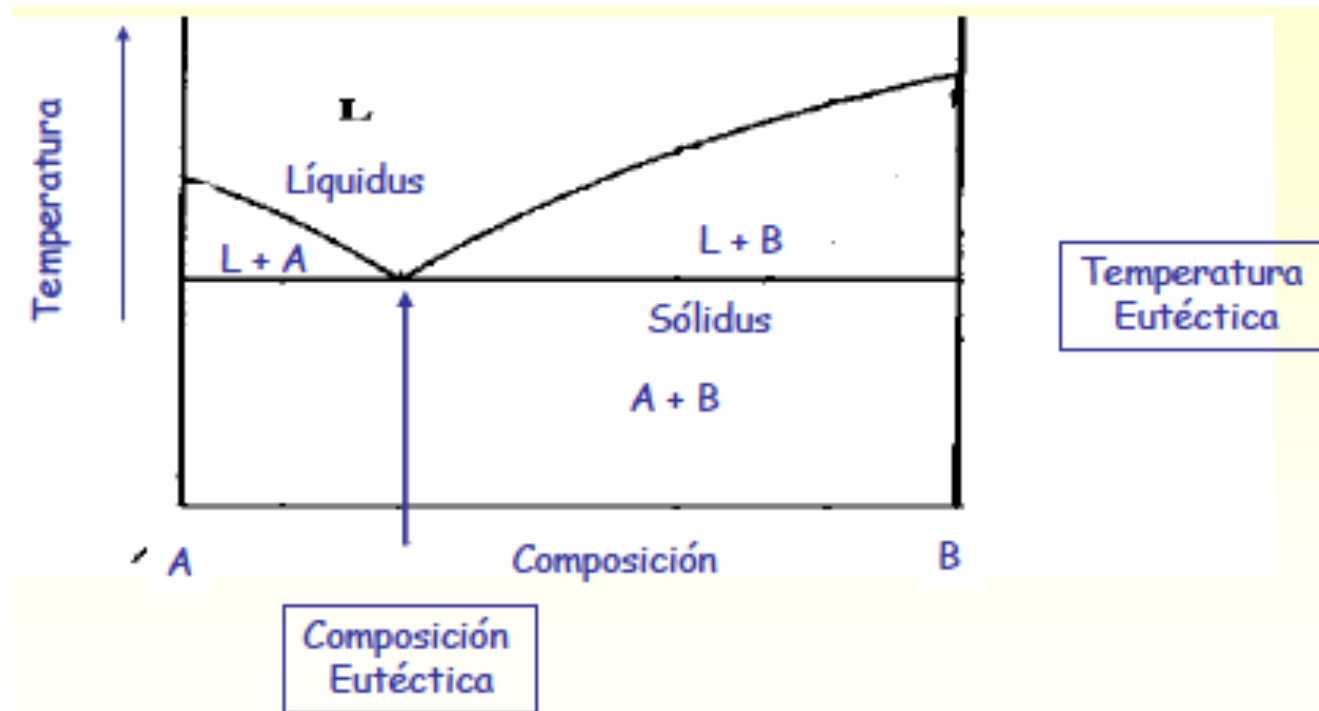
$\beta$ : SS con igual estructura cristalina que B.

En la zona central, dos fases sólidas presentes:

$\alpha$  y  $\beta$

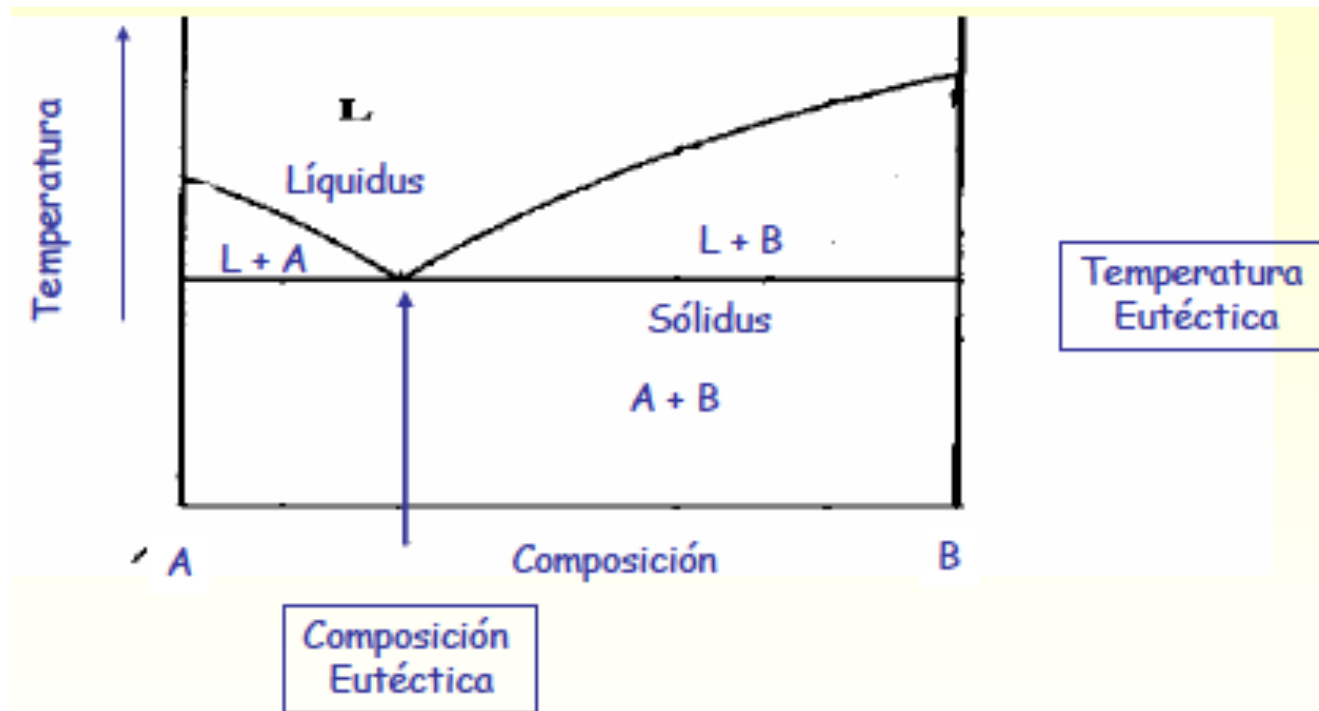


## Diagrama eutéctico con Insolubilidad Total





## Diagrama eutéctico con Insolubilidad Total







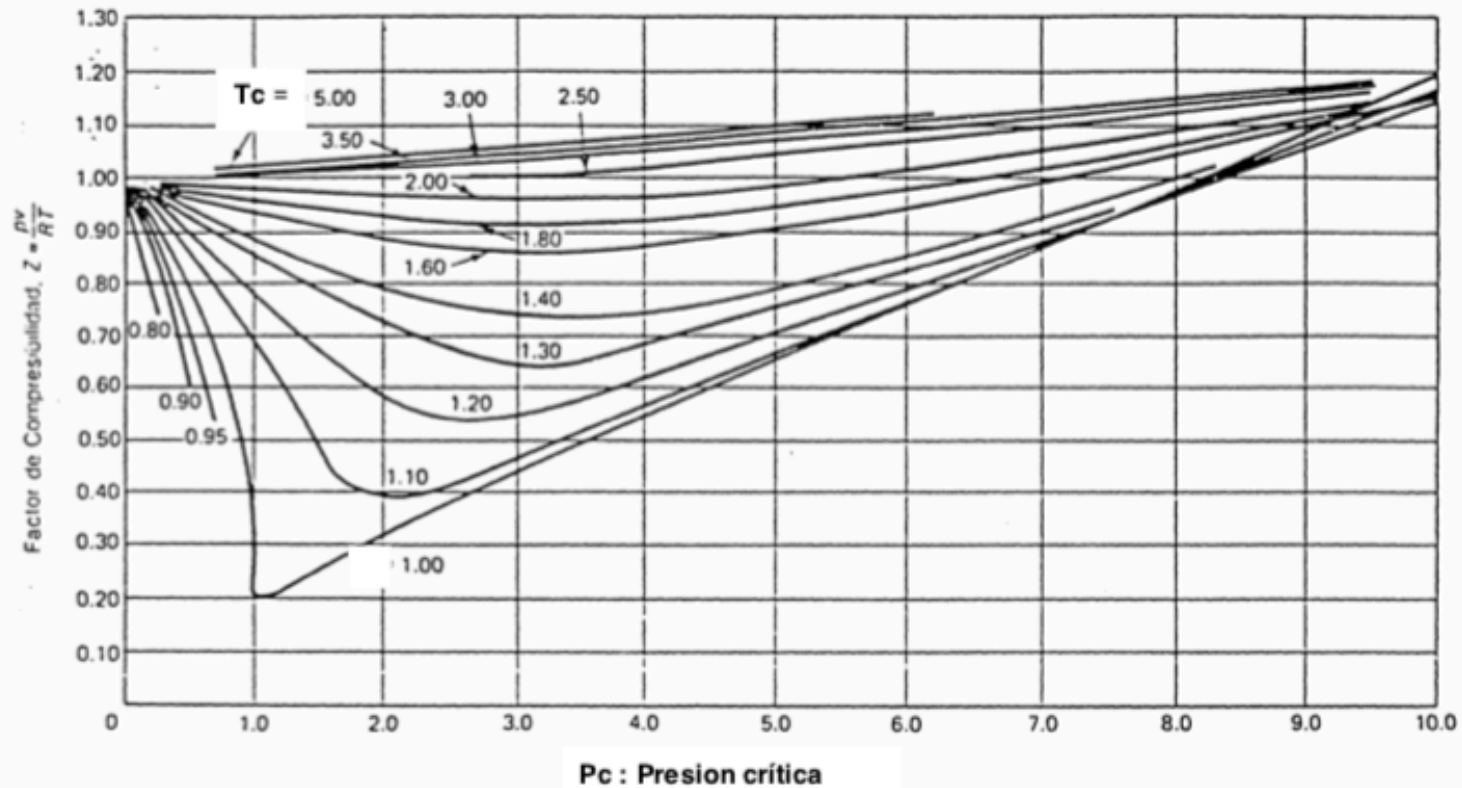
## 2.3 Tablas y diagramas de propiedades Insolubilidad Total

TABLA: Constantes de GASES

Sustancia	Fórmula	Masa Molar (kg/kmol)	R' (kJ/kgK)	T <sub>c</sub> (K)	P <sub>c</sub> (kPa)	C <sub>p</sub> (kJ/kgK)	C <sub>v</sub> (kJ/kgK)	γ
Aire		28,97	0,287	133	3,95	1,005	0,718	1,4
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	17	0,52	403	11,65	2,19	1,67	1,31
Argon	Ar	40	0,208	151	4,86	0,5207	0,3124	1,667
Dioxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	44	0,189	304	7,39	0,827	0,632	1,31
Monoxido Carbono	CO	28	0,297	133	3,5	1,04	0,744	1,399
Helio	He	4	2,077	5,2	0,23	5,19	3,11	1,667
Hidrogeno	H <sub>2</sub>	2	4,16	33,2	1,3	14,24	10,08	1,4
Neon	Ne	20,2	0,412			1,03	0,618	1,667
Nitrogeno	N <sub>2</sub>	28	0,297	126,2	3,39	1,034	0,737	1,4
Oxigeno	O <sub>2</sub>	32	0,26	154,4	5	0,917	0,656	1,4
Dioxido de azufre	SO <sub>2</sub>	64	0,13	431	7,87	0,65	0,515	1,25
Agua	H <sub>2</sub> O	18	0,461	647,3	22,1	1,865	1,403	1,329
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	0,106	562	4,93			
n-butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	0,143	425,2	3,8	1,716	1,573	1,09
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30	0,276	305,4	4,88	1,766	1,49	1,186
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	0,296	282,4	5,12	1,548	1,252	1,237
Metano	CH <sub>4</sub>	16	0,518	191	4,64	2,254	1,735	1,299
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44	0,1885	370	4,26	1,679	1,49	1,126



## 2. DIAGRAMA: Nelson-Obert (Factor de compresibilidad)





### 3. TABLA: Vapor y Agua Saturado (Según la temperatura)

Temp (°C)	Presión (bar)	$v'$ (m³/kg)	$v''$ (m³/kg)	$h'$ (kJ/kg)	$h''$ (kJ/kg)	$s'$ (kJ/kgK)	$s''$ (kJ/kgK)
0.01	0.0061120	0.0010002	206.2	0	2501.6	0	9.1575
1.0000	0.0065709	0.0010001	192.44	4.1767	2502.7	0.015260	9.1291
2.0000	0.0070599	0.0010001	179.76	8.3918	2504.6	0.030607	9.1027
3.0000	0.0075808	0.0010001	168.01	12.604	2506.4	0.045888	9.0765
4.0000	0.0081355	0.0010001	157.12	16.813	2508.2	0.061103	9.0505
5.0000	0.0087258	0.0010001	147.01	21.020	2510.1	0.076254	9.0248
6.0000	0.0093536	0.0010001	137.63	25.224	2511.9	0.091342	8.9993
7.0000	0.010021	0.0010001	128.92	29.426	2513.7	0.10637	8.9741
8.0000	0.010730	0.0010002	120.83	33.627	2515.6	0.12133	8.9491
9.0000	0.011483	0.0010003	113.30	37.825	2517.4	0.13624	8.9243
10.000	0.012282	0.0010003	106.30	42.021	2519.2	0.15109	8.8998
11.000	0.013130	0.0010004	99.787	46.216	2521.0	0.16587	8.8754
12.000	0.014028	0.0010005	93.719	50.409	2522.9	0.18061	8.8513
13.000	0.014981	0.0010007	88.064	54.601	2524.7	0.19528	8.8274
14.000	0.015990	0.0010008	82.793	58.792	2526.5	0.20990	8.8037
15.000	0.017058	0.0010009	77.875	62.981	2528.3	0.22446	8.7803
16.000	0.018188	0.0010011	73.286	67.170	2530.2	0.23897	8.7570
17.000	0.019384	0.0010013	69.001	71.357	2532.0	0.25343	8.7339
18.000	0.020647	0.0010014	64.998	75.544	2533.8	0.26783	8.7111
19.000	0.021983	0.0010016	61.256	79.729	2535.6	0.28218	8.6884
20.000	0.023393	0.0010018	57.757	83.914	2537.4	0.29648	8.6660



Para una mejor visualización de los datos termodinámicos pueden consultarse:

- Tablas y diagramas termodinámicos, en [https://  
www.modeloingenieria.edu.ar/  
images/IntegracionIII/Material-ext/  
tablas\\_y\\_diagramas.pdf](https://www.modeloingenieria.edu.ar/images/IntegracionIII/Material-ext/tablas_y_diagramas.pdf)
- Tablas de propiedades termodinámicas de los gases ideales de Federico Ramírez Santa Pau, Editorial Complutense, 2008.



## 2.4 Ecuación del estado del gas ideal

$$PV=nRT$$



## Bibliografía

### Básica

- a) Cengel Y. A. y Boles M. A. (2012). “Termodinámica”. México, Mc- Graw Hill.
- b) Zemansky, M. W y Dittman R. H. (1986). “Calor y termodinámica”. México: McGraw-Hill.
- c) Moran, M. J. y Shapiro, H. N. (2001). “Fundamentos de termodinámica técnica”. Barcelona, España: Reverté,.
- d) Wark, K. y Richards E. D. (2001). “Termodinámica”, 6ª.Ed, Madrid, España: Mc Graw-Hill.
- e) Van Wylen, G. J., Sonntag, R. E. y Borgnakke C. (2000). “Fundamentos de termodinámica”. México, Limusa,
- f) Ramirez, S. P. (2008). Tablas de propiedades termodinamicas de los gases ideles. España: Editorial Complutence.